

УДК 621.397.6

## ОБ ОЦЕНКЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ ПРИЦЕЛИВАНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ УСТАНОВКИ В ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ ОБЪЕКТАХ БТТ

С. Н. СИРЕНКО, Н. И. ЛЕСНИЧУК, инженеры (КП ХХБМ им. А. А. Морозова, г. Харьков)

Приведен анализ соответствия требований по дальности видения телевизионных прицелов в зависимости от их разрешающей способности.

Проаналізовано вимоги щодо дальності бачення телевізійних прицілів залежно від їхньої роздільної здатності.

Analysis of correspondence to the requirements, established for the vision range of the television sights, depending upon the resolution capacity, is made.

В настоящее время при реализации модульного построения систем вооружения легкобронированных объектов БТТ (концепция «безэкипажного модуля») для решения вопросов, связанных с дистанционным управлением вооружения, вместо оптических прицелов широкое применение находят телевизионные приборы наблюдения и прицеливания. Однако устанавливаемые в модуле системы вооружения изначально проектировались и были рассчитаны на поиск целей и наведение вооружения на цель с помощью оптических прицелов. Таким образом, необходимо решить вопрос о соответствии визуальных характеристик телевизионных и оптических прицелов, что необходимо для конкретизации требований технических заданий на разработку телевизионных приборов прицеливания (ТВПП) в части дальности видения объектов и выработки однозначной трактовки оценок при формулировании этих требований.

Основным назначением такого прицела является обеспечение оператора визуальной информацией о боевой обстановке, которая требуется для обнаружения цели и применения вооружения. Прицел должен обеспечить воспроизведение на видеосмотровом устройстве (ВСУ) изображения реального объекта такого качества, которое позволит оператору обнаружить его, т. е. выделить его на фоне окружающей местности и определить по его внешнему виду, к какому конкретному образцу техники он относится.

При этом предполагается, что оператор обладает нормальным зрением и является профессионально подготовленным, т. е. предварительно ознакомлен

с объектами наблюдения и по анализу видимого на ВСУ изображения может принять правильное решение относительно соответствия изображения наблюдаемому объекту. Внешний вид объектов определяется характерными деталями. Следовательно, чем больше деталей можно различить на изображении объекта, тем больше вероятность правильного сопоставления изображения данного объекта с конкретным образцом БТТ, известным оператору.

Очевидно, что дальность видения зависит также от уровня освещенности, контраста, атмосферных условий. Однако, если в изображении объекта на ВСУ изначально не содержится деталей, присущих реальному объекту, то даже при самых высоких характеристиках телевизионного прицела по чувствительности, параметрах ВСУ, значениях контраста цель — фон и самых благоприятных метеословиях эти детали на изображении объекта естественно не проявятся.

Таким образом, определяющей характеристикой телевизионного прицела следует считать его возможность воспроизводить изображение наблюдаемого объекта с достаточным количеством деталей, требуемых для решения конкретных задач поиска целей и применения вооружения.

*Понятие различимости для телевизионного прицела.* Особенностью и отличием телевизионного изображения от оптического является его растровая структура. Естественно, что чем из большего количества строк раstra будет состоять изображение, тем более тонко и подробно будут «прорисованы» детали объекта, тем в большей степени телевизионное, растровое изображение объекта будет соответствовать его реальному прототипу. Для коли-

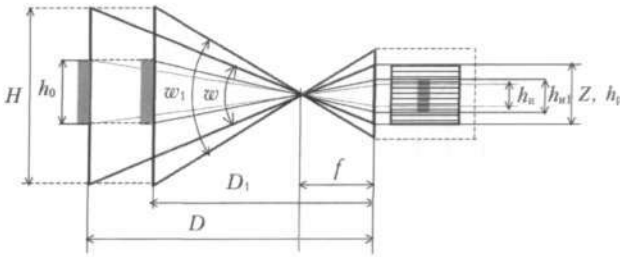


Рис. 1. Зависимость между расстоянием до объекта, различием  $p$  и передаваемой площадью

чественного описания характеристики телевизионного изображения объекта в зависимости от числа строк, из которого оно состоит, вводится понятие различимости —  $p$ .

Стандартные ТВ-системы в общем случае обеспечивают порядка 550 горизонтальных и 800 вертикальных элементов раstra. Очевидно, что такое число элементов на изображении объекта будет лишь тогда, когда объект будет занимать всю площадь раstra. Реально же изображение занимает лишь его часть.

Как видно из рис. 1, при уменьшении расстояния между ТВПП и объектом  $h_0$  с  $D$  до  $D_1$  за счет увеличения изображения с  $h_n$  до  $h_{n1}$  увеличивается количество строк раstra, приходящегося на него, тем самым повышается его различимость  $p$ . Но очевидно, что в условиях боевого применения ТВПП решение вопроса повышения значения  $p$  путем приближения к возможному потенциальному противнику является нецелесообразным. Повысить значение  $p$  можно иным способом, увеличив фокусное расстояние ТВ-системы.

Как видно из рис. 2, увеличение фокусного расстояния  $f$  при неизменной дальности  $D$  за счет увеличения изображения от  $h_n$  до  $h_{n1}$  повышает различимость  $p$ . Однако при этом одновременно уменьшается линейное поле зрения, а следовательно, и площадь наблюдаемого пространства, что может оказаться неприемлемым из-за нарушения взаимосвязи рассматриваемого объекта с окружающим ландшафтом. Из-за уменьшения линейного поля зрения увеличивается также и вероятность потери цели.

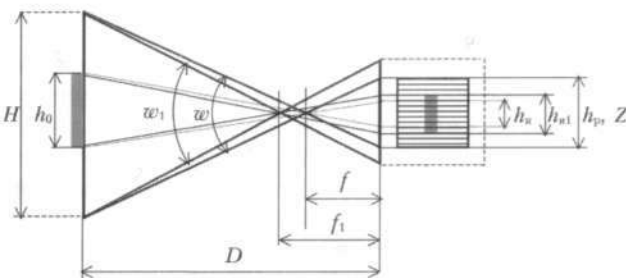


Рис. 2. Зависимость между фокусным расстоянием ТВ-системы и величинами изображения и линейного поля зрения на растре

В оптико-электронных прицелах, к которым относится ТВПП, наиболее часто реализуются ТВ-системы с двумя дискретно изменяемыми фокусными расстояниями для формирования широкого и узкого полей зрения.

Анализируя рис. 1, 2, приходим к заключению, что определяющим параметром для оценки телевизионного изображения следует считать его различимость [1]. Таким образом, задача сводится к нахождению зависимости  $p = f(D, h_0, Z, h_p, w, f)$ , где  $h_p$  — высота раstra;  $Z$  — полное число строк раstra;  $h_0$  — высота объекта;  $h_n$  — высота изображения объекта на растре;  $D$  — расстояние до объекта;  $f$  — фокусное расстояние объектива ( $f \approx d$ );  $w$  — угол поля зрения прицела.

Расстояние между осями строк раstra (ширину строк раstra)  $\delta$  можно представить, как

$$\delta = \frac{h_p}{Z}, \quad (1)$$

Из него получаем соотношение, связывающее полное число строк раstra  $Z$  с различимостью  $p$ , т. е. с числом строк, приходящихся на изображение  $h_n$ , количество которых в общем случае составляет часть полного количества строк:

$$p = \frac{h_n}{\delta} = \frac{h_n Z}{h_p}. \quad (2)$$

Из подобия треугольников (рис. 3) следует, что при  $D \gg f$  относительный масштаб изображения и объекта связаны соотношением

$$\frac{h_n}{h_0} = \frac{d}{D} \approx \frac{f}{D}. \quad (3)$$

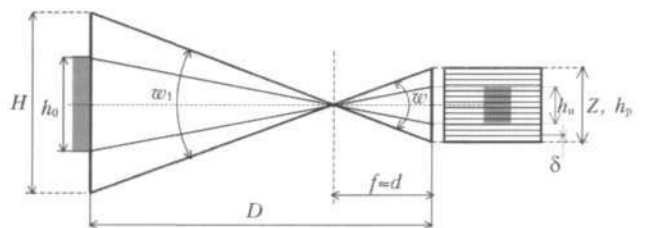


Рис. 3. Зависимость параметра  $p = h/\delta$  от фокусного расстояния объектива  $d \approx f$  при дальности до объекта  $D$

Следующим шагом необходимо получить выражение для фокусного расстояния  $f$  через высоту раstra  $h_p$ . Из подобия треугольников (рис. 3) и зависимости (3) находим его

$$f = \frac{h_p}{2 \operatorname{tg} \alpha}, \quad (4)$$

где  $\alpha = w/2$ .

Определив  $h_n$  из выражения (3)

$$h_n = \frac{h_0 f}{D} \quad (5)$$

и подставив его в (2), получим параметр  $p$

$$p = \frac{h_0 f}{D \delta} = \frac{h_0 Z}{D h_p} f. \quad (6)$$

Подставив (5) в (6), получим окончательное соотношение для различимости  $p$  (строки)

$$p = \frac{h_0 Z}{D^2 \operatorname{tg} \alpha}. \quad (7)$$

Из (7) получим следующие соотношения: для дальности видения  $D$

$$D = \frac{h_0 Z}{p^2 \operatorname{tg} \alpha}, \quad (8)$$

для количества требуемых строк растра  $Z$

$$Z = \frac{D p^2 \operatorname{tg} \alpha}{h_0}, \quad (9)$$

для высоты изображения  $h_n$  на ВСУ

$$h_n = \frac{h_p h_0}{D^2 \operatorname{tg} \alpha}. \quad (10)$$

*Критерии понятий «обнаружение и опознавание». Объекты и цели. Связь различимости с дальностью видения по стадиям поиска.* Стадиям поиска цели в общем случае соответствует степень ее «узнавания» оператором, т. е. вероятность правильного соотнесения изображения объекта с его реальным прототипом. В общем случае поиск целей оператором делится на две стадии: обнаружение и опознавание. Однако трактовка критериев этих стадий для оптических прицелов и оптико-электронных различна. Для оптических прицелов под понятием «обнаружение» обычно подразумевается стадия поиска, при которой оператор выделяет объект на фоне местности.

Для оптико-электронных прицелов, к которым относится ТВПП, «обнаружению» ставят в соответствие наличие на ВСУ «изображения» объекта в виде отметки, характеризующейся только яркостным контрастом относительно фона, т. е. о форме объекта здесь не говорится. Это может быть всего лишь точка, соответствующая единичному элементу растра ВСУ. При этом, естественно, какой бы силы яркости она ни была, форму изображаемого объекта мы не определим, даже если будем рассматривать ее через окуляр, имеющий увеличение. Объект будет представлен точкой, имеющей усредненную яркость, в виде одной элементарной детали.

В общем случае на окружающей местности может оказаться  $n$  объектов, подпадающих под это

определение «обнаружения», в том числе и естественного происхождения. Единственным же алгоритмом их выбора в качестве цели может быть лишь последовательный перебор их всех, что в реальных условиях поля боя неприемлемо.

Таким образом, под понятием «обнаружение» цели в данном случае подразумеваем такое изображение объекта на ВСУ, которое дает возможность оператору по его внешнему виду и форме принять решение о принадлежности данного изображения к реальному объекту БТТ, т. е. отнести объект к классу потенциальных целей. Следовательно, задача в первую очередь сводится к определению значения параметра  $p$ , который дает возможность количественного описания понятий «обнаружения и опознавания».

Представим образец БТТ с основными характерными размерностями (усредненными) для конкретного образца объекта деталей:

Фронтальная проекция, м	2,4
Высота башни, м	0,8
Диаметр катка, м	0,6
Ширина трака гусеницы, м	0,6
Защитный колпак прицела, м	0,4
Диаметр (толщина) ствола пушки, м	0,22
Количество катков, шт.	6–7

В табл. 1 приведены расчетные дальности видения при наблюдении невооруженным глазом или через оптический прибор, не имеющий увеличения. Для критерия степени видимости принята усред-

Таблица 1

Степень видимости	Дальность, м	Деталь, м
Танк трудно отличить от машин других типов; можно определить, что объект состоит из двух деталей (башня / шасси)	~3000	0,8 / 1,6
Танк отличается от машин других типов; видны гусеницы	~2000	0,6
Видны защитные корпуса входных окон прицелов	~1400	0,4
Можно определить тип танка; виден ствол пушки	~800	0,220



Рис. 4. Изображение танка с различимостью  $p = 240$  строк

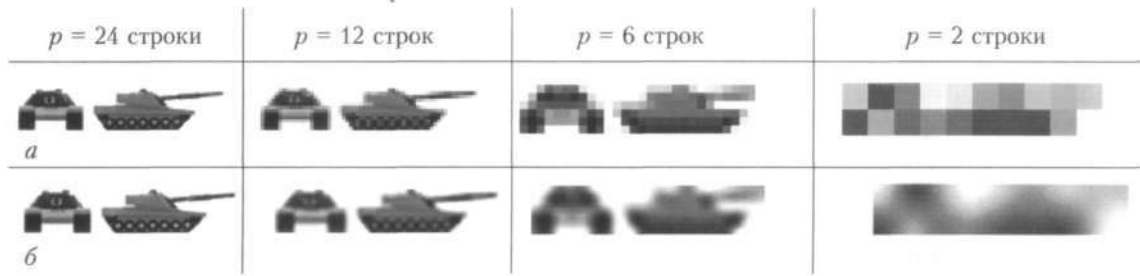


Рис. 5. Изображения танка расчетные (а) и на ВСУ (б)

ненная разрешаемая способность человеческого глаза, равная в общем случае 1 угл. мин [1].

Танк высотой  $h = 2,4$  м с различимостью деталей  $p = 240$  строк представлен на рис. 4. С такой различимостью деталей танк виден человеческим глазом с расстояния 34 м.

На рис. 5, а представлены расчетные изображения танка с различными значениями  $p$  с учетом размерностей, приведенных выше, а на рис. 5, б — то же, но при изображении на ВСУ.

Изображение объекта на ВСУ с заданным значением  $p$ . Линейные размеры изображения зависят от размеров ВСУ. Определим высоту изображений танка  $h_n$ , а также его внешний вид на ВСУ конкретного образца интересующего наблюдателя объекта.

ВСУ-11: размеры раstra по диагонали ~98 мм; высота раstra  $h_p = 59$  мм. Подставляя  $h_p$  в (10), получаем

для  $\omega = 8^\circ$ ;  $D = 1000$  м;  $p = 6$  строк

$$h_n = \frac{h_p h_0}{D^2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{59 \cdot 2,4}{1000^2 \operatorname{tg} 4^\circ} = 1,0 \text{ мм}$$

для  $\omega = 8^\circ$ ;  $D = 5000$  м

$$h_n = \frac{h_p h_0}{D^2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{59 \cdot 2,4}{5000^2 \operatorname{tg} 4^\circ} = 0,2 \text{ мм}$$

для  $\omega = 2^\circ$ ;  $D = 1000$  м;  $p = 24$  строки

$$h_n = \frac{h_p h_0}{D^2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{59 \cdot 2,4}{1000^2 \operatorname{tg} 1^\circ} = 4 \text{ мм}$$

для  $\omega = 2^\circ$ ;  $D = 5000$  м

$$h_n = \frac{h_p h_0}{D^2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{59 \cdot 2,4}{5000^2 \operatorname{tg} 1^\circ} = 0,8 \text{ мм}$$

ВСУ-38 (15 дюймов по диагонали): размеры раstra по диагонали ~380 мм; высота раstra  $h_p = 230$  мм. Тогда при  $\omega = 8^\circ$ ;  $D = 1000$  м;  $p = 6$  строк

$$h_n = \frac{h_p h_0}{D^2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{230 \cdot 2,4}{1000^2 \operatorname{tg} 4^\circ} = 3,8 \text{ мм}$$

при  $\omega = 8^\circ$ ;  $D = 5000$  м

$$h_n = \frac{h_p h_0}{D^2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{230 \cdot 2,4}{5000^2 \operatorname{tg} 4^\circ} = 0,7 \text{ мм}$$

при  $\omega = 2^\circ$ ;  $D = 1000$  м;  $p = 24$  строки

$$h_n = \frac{h_p h_0}{D^2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{230 \cdot 2,4}{1000^2 \operatorname{tg} 1^\circ} = 15,2 \text{ мм}$$

при  $\omega = 2^\circ$ ;  $D = 5000$  м

$$h_n = \frac{h_p h_0}{D^2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{230 \cdot 2,4}{5000^2 \operatorname{tg} 1^\circ} = 3,0 \text{ мм}$$

Проведя оценку визуального восприятия вида расчетных изображений танка на конкретных образцах ВСУ в зависимости от дальности до него, приходим к заключению, что уверенное обнаружение и опознавание танка (именно танка, а не «объекта» или «контрастной отметки») можно произвести при следующих значениях  $p$ :

- обнаружение:

по бортовой проекции  $p = 6$  строк,  
по фронтальной проекции  $p = 8$  строк;

- опознавание:

по бортовой проекции  $p = 12$  строк,  
по фронтальной проекции  $p = 24$  строки.

Расчет дальности видимости ТВПП в зависимости от заданных значений  $p$  и  $D$ . Реальные (усредненные) значения полей зрения прицелов (по вертикальному направлению) составляют:

- широкое поле зрения  $\omega = 8^\circ$  ( $\alpha = 4^\circ$ );
- узкое поле зрения  $\omega = 2^\circ$  ( $\alpha = 1^\circ$ );
- количество активных телевизионных строк  $Z = 575$ ;

• требуемые размерности деталей объекта приведены выше (см. с. 33).

Задав значения  $p$  для стадий поиска: обнаружение:  $p = 6$  (8); опознавание:  $p = 12$  (24) и подставляя их в (8), получаем

• дальность обнаружения танка (в широком поле зрения):

$p = 6$  строк

$$D = \frac{h_0 Z}{p^2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{2,4 \cdot 575}{6^2 \operatorname{tg} 4^\circ} = 1645 \text{ м,}$$

$p = 8$  строк

$$D = \frac{h_0 Z}{p^2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{2,4 \cdot 575}{8,2 \operatorname{tg} 4^\circ} = 823 \text{ м;}$$

• дальность опознавания танка (в узком поле зрения)

$$p = 12 \text{ строк}$$

$$D = \frac{h_0 Z}{p^2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{2,4 \cdot 575}{12 \cdot 2 \operatorname{tg} 1^\circ} = 3294 \text{ м,}$$

$$p = 24 \text{ строки}$$

$$D = \frac{h_0 Z}{p^2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{2,4 \cdot 575}{24 \cdot 2 \operatorname{tg} 1^\circ} = 1647 \text{ м.}$$

Из (9) определим, каким должно быть количество строк раstra  $Z$ , чтобы при поле зрения  $2^\circ$  получить дальность опознавания, равную 5000 м (дальность действия управляемого вооружения)

$$D = 5000 \text{ м; } p = 12$$

$$Z = \frac{D p^2 \operatorname{tg} \alpha}{h_0} = \frac{5000 \cdot 12 \cdot 2 \operatorname{tg} 1^\circ}{2,4} = 872 \text{ строк,}$$

$$D = 5000 \text{ м; } p = 24 \text{ строки}$$

$$Z = \frac{D p^2 \operatorname{tg} \alpha}{h_0} = \frac{5000 \cdot 24 \cdot 2 \operatorname{tg} 1^\circ}{2,4} = 1745 \text{ строк.}$$

Таким образом, полученные в результате расчета данные соответствуют случаю идеальной ТВ-системы и, следовательно, являются предельно возможными. Реально стандартная ТВ-система обеспечивает разрешение порядка 440 линий по горизонтали и 640 вертикали. Очевидно, что любая реальная оптическая система, будь то объектив или видеодисплей, в условиях реальной обстановки, только ухудшат исходный вид объекта [3].

Как видим, ТВПП со стандартной системой разложения  $Z = 625$  строк не обеспечивает требуемых дальностей обнаружения и опознавания, целей типа танк. Для возможности использования ТВПП с существующими системами вооружения требуется разработка ТВ-систем с  $Z$  не менее 1800 строк. 🖥️

1. Рыфтин Я. А. Телевизионная система. — М.: Сов. радио, 1967. — 257 с.
2. Эргономика зрительной деятельности человека / В. В. Волков, А. В. Луизов, Б. В. Овчинников, Н. П. Травникова. — Л.: Машиностроение, 1989. — 112 с.
3. Человеческий фактор: В 6 т. Т. 5: Эргономические основы проектирования рабочих мест: Пер. с англ. / К. Кремер, Д. Чэффин, М. Айюб и др. — М.: Мир, 1992. — 390 с.